

частот преимущественно в пределах альфа- и бета-диапазонов.

Корреляционный анализ данных в группе с наличием утомления выявил положительную связь средней силы между величиной ошибки (рассогласования) в 3-м режиме сенсомоторного слежения и мощностью тета-ритма ($r = 0,583$; $p < 0,05$), а также обратную среднюю связь между величиной ошибки в 3-м режиме операторской деятельности и мощностью альфа-ритма ($r = -0,603$; $p < 0,05$). В группе лиц с отсутствием утомления установлена обратная связь средней силы между величиной ошибки слежения в 3-м режиме и мощностью альфа-ритма ($r = -0,401$; $p < 0,05$), а также прямая слабая корреляционная связь величины ошибки с мощностью тета-ритма ($r = 0,344$; $p < 0,05$). Значимые корреляционные взаимосвязи между величиной ошибки в 1-м и 2-м режимах операторской деятельности и мощностью ритмов ЭЭГ отсутствовали.

Обсуждение. Утомление у операторов МЧС является крайне нежелательным, но нередко проявляющимся эффектом, своевременное выявление которого обеспечивает безопасность на объектах деятельности и требует проведения функциональных коррекционных процедур, призванных сохранить здоровье специалистов, представляющих ценный профессиональный ресурс. Состояние утомления включает в себя: субъективный компонент – чувство усталости, которое может быть выявлено с помощью специальных анкет; компонент снижения работоспособности, определяемый на практике либо по результатам реальной профессиональной эффективности, либо по данным выполнения нагрузочных тестов-моделей; изменение физиологических показателей, в частности специфических паттернов нейронной активности. Нейрофизиологические характеристики биоэлектрической активности головного мозга в целом отражают функциональные возможности организма, особенно на фоне умственных и стрессовых нагрузок, свойственных данной профессии [12].

Для группы операторов с отсутствием утомления характерен высокий уровень усвоения ритма в полосе собственных частот, что свидетельствует о высоком уровне нейродинамических процессов и функциональной способности коры к быстрому переходу к состоянию активации. В группе операторов с наличием утомления наблюдалось преимущественное усвоение низких частот, в частности диффузное усвоение ритма в тета-диапазоне (в 65,3 % случаев) и появление гармоник более высокого порядка в затылочных областях (в 34,7 % случаев), что, по данным литературы, можно интерпретировать как снижение стабилизации биоэлектрических процессов в коре головного мозга [13].

В обеих группах операторов сложность задачи положительно коррелировала с мощностью тета-ритма, тогда как отрицательная корреляция наблюдалась между наиболее сложным режимом сенсомоторного слежения и мощностью альфа-ритма. При этом обнаружены статистически значимые различия мощности тета- и альфа-ритмов между группами с наличием и отсутствием утомления. Таким образом, установлены взаимосвязи параметров биоэлектрической активности головного мозга и качества операторской деятельности в выделенных группах.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что нейрофизиологические показатели, включающие и реакцию на функциональные пробы, в совокупности с субъективной оценкой утомления могут быть использованы в качестве индикаторов функционального состояния во время периодических скрининговых обследований операторов МЧС. Кроме того, данные характеристики динамики реакции активации в ответ на функциональные пробы могут рассматриваться в качестве параметров управления функциональным состоянием, основанного на принципе биологической обратной связи.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Нестеренко А.Г., Зокоев В.А. Стратегические аспекты развития системы обеспечения комплексной безопасности в Арктической зоне Российской Федерации // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2016. Т. 19, № 2. С. 476–484. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-2-476-484
2. Göker Z. Fatigue in the Aviation: An Overview of the Measurements and Countermeasures // J. Aviat. 2018. Vol. 2, № 2. P. 185–194. DOI: 10.30518/jav.451741
3. Коннова Л.А. Системный подход к подготовке специалистов федеральной противопожарной службы МЧС России к работе в Арктическом регионе // Науч.-аналит. журн. «Вестн. С.-Петерб. ун-та Гос. противопожар. службы МЧС России». 2016. № 4. С. 189–197.
4. Camden M.C., Medina-Flintsch A., Hickman J.S., Bryce J., Flintsch G., Hanowski R.J. Environmental Factors Causing Fatigue in Equipment Operators During Winter Operations. St. Paul: Clear Roads Pooled Fund, 2014. URL: http://clearroads.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/11-05-Factors-Causing-Fatigue-Final-Report_MnDot.pdf (дата обращения: 15.11.2019).
5. Deng N., Guyer R., Ware J. Energy, Fatigue, or Both? A Bifactor Modeling Approach to the Conceptualization and Measurement of Vitality // Qual. Life Res. 2015. Vol. 24, № 1. P. 81–93.
6. Поликанова И.С., Леонов С.В. Психофизиологические и молекулярно-генетические корреляты утомления // Соврем. зарубеж. психология. 2016. Т. 5, № 4. С. 24–35. DOI: 10.17759/jmfr.2016050403
7. Чернявских С.Д., Горбунова О.А. Влияние функциональных нагрузок на показатели ЭЭГ // Науч. результат. Сер.: Физиология. 2014. № 1(1). С. 35–41.
8. Патент № 2477619 Российская Федерация, МПК А61В 5/0402 (2006.01), А61В 5/16 (2006.01). Способ прогнозирования эффективности биоуправления параметрами ритма сердца с учетом психодинамических свойств личности: № 2011125857/14; заявл. 23.06.2011; опубл. 27.12.2012 / Кривоногова Е.В., Поскотнинова Л.В.
9. Кривоногова Е.В., Поскотнинова Л.В. Изменения латентности слухового когнитивного вызванного потенциала Р300 при биоуправлении параметрами ритма сердца в зависимости от психофизиологических особенностей молодых людей // Когнитивные исследования на современном этапе: материалы Всерос. конф. с междунар. участием по когнитив. науке (Архангельск, 19–22 ноября 2018 г.). Архангельск, 2018. С. 174–176. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_36698718_68904244.pdf (дата обращения: 29.7.2019).
10. Бубнова А.Е. Комплексная оценка субъективных и объективных физиологических характеристик критического уровня утомления у операторов МЧС // Вестн. Волгогр. гос. мед. ун-та. 2019. Вып. 3(71). С. 91–95.
11. Клаучек С.В., Кудрин Р.А., Кочегура Т.Н., Шмидт С.А., Ахундова Р.Е., Фокина А.С. Физиологические основы эффективности операторской деятельности и ее биорезонансная коррекция. Волгоград, 2009. 218 с.
12. Азарко Е.М., Володенко Д.В. Выявление специфики частотных диапазонов ЭЭГ в предреабилитационной диагностике пожарных и спасателей // Изв. Урал. фед. ун-та. Сер. 1: Проблемы образования, науки и культуры. 2018. Т. 24, № 3(177). С. 106–113.
13. Brust-Carmona H., Valadez G., Galicia M., Flores-Ávalos B., Sánchez A., Espinosa R., Yáñez Ó. Desynchronization/Synchronization of Parasagittal EEG Rhythms During Habituation to Photostimulation in Adults // Rev. Invest. Clín. 2014. Vol. 66, № 5. P. 422–430.

References

1. Nesterenko A.G., Zokoev V.A. Strategicheskie aspekty razvitiya sistemy obespecheniya kompleksnoy bezopasnosti v Arkticheskoy zone Rossiyskoy Federatsii [Strategic Aspects of the Complex Security System in the Arctic Zone of the Russian Federation]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, vol. 19, no. 2, pp. 476–484. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-2-476-484
2. Göker Z. Fatigue in the Aviation: An Overview of the Measurements and Countermeasures. *J. Aviat.*, 2018, vol. 2, no. 2, pp. 185–194. DOI: 10.30518/jav.451741
3. Konnova L.A. Sistemnyy podkhod k podgotovke spetsialistov federal'noy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii k rabote v Arkticheskom regione [On the Issue of Training Specialists for the Ministry of Emergency Situations in the Arctic]. *Nauchno-analiticheskiy zhurnal. "Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii"*, 2016, no. 4, pp. 189–197.

4. Camden M.C., Medina-Flintsch A., Hickman J.S., Bryce J., Flintsch G., Hanowski R.J. *Environmental Factors Causing Fatigue in Equipment Operators During Winter Operations*. St. Paul, 2014. Available at: http://clearroads.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/11-05-Factors-Causing-Fatigue-Final-Report_MnDot.pdf (accessed: 15 November 2019).

5. Deng N., Guyer R., Ware J.E. Jr. Energy, Fatigue, or Both? A Bifactor Modeling Approach to the Conceptualization and Measurement of Vitality. *Qual. Life Res.*, 2015, vol. 24, no. 1, pp. 81–93.

6. Polikanova I.S., Leonov S.V. Psikhofiziologicheskie i molekulyarno-geneticheskie korrelyaty utomleniya [Psychophysiological and Molecular Genetic Correlates of Fatigue]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya*, 2016, vol. 5, no. 4, pp. 24–35. DOI: 10.17759/jmfp.2016050403

7. Chernyavskikh S.D., Gorbunova O.A. Vliyanie funktsional'nykh nagruzok na pokazateli EEG [The Influence of Functional Loads on EEG]. *Nauchnyy rezul'tat. Ser.: Fiziologiya*, 2014, no. 1, pp. 35–41.

8. Krivonogova E.V., Poskotinova L.V. *Method for Predicting the Effectiveness of Using Heart Rate Variability Biofeedback Taking into Account the Person's Psychodynamic Properties*. Patent RF no. 2477619, 2012 (in Russ.).

9. Krivonogova E.V., Poskotinova L.V. Izmeneniya latentnosti slukhovogo kognitivnogo vyzvannogo potentsiala P300 pri bioupravlenii parametrami ritma serdtsa v zavisimosti ot psikhofiziologicheskikh osobennostey molodykh lyudey [Latency Changing of an Auditory Evoked Cognitive Potential P300 at Heart Rate Variability Biofeedback Session Depending on Psychophysiological Characteristics in Young People]. *Kognitivnye issledovaniya na sovremennom etape [Cognitive Research Today]*. Arkhangel'sk, 2018, pp. 174–176. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_36698718_68904244.pdf (accessed: 29 July 2019).

10. Bubnova A.E. Kompleksnaya otsenka sub'ektivnykh i ob'ektivnykh fiziologicheskikh kharakteristik kriticheskogo urovnya utomleniya u operatorov MChS [Complex Assessment of Subjective and Objective Physiological Characteristics of the Critical Level of Fatigue Among Emercom Operators]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, 2019, no 3, pp. 91–95.

11. Klauchek S.V., Kudrin R.A., Kochegura T.N., Shmidt S.A., Akhundova R.E., Fokina A.S. *Fiziologicheskie osnovy effektivnosti operatorskoy deyatelnosti i ee biorezonansnaya korrektsiya* [Physiological Basis for the Effectiveness of Operator Activity and Its Correction by Means of Bioresonance Therapy]. Volgograd, 2009. 218 p.

12. Azarko E.M., Volodenko D.V. Vyyavlenie spetsifiki chastotnykh diapazonov EEG v predreabilitatsionnoy diagnostike pozharnykh i spasateley [Identification of the Specificity of EEG Frequency Ranges During Pre-Rehabilitation Diagnosis of Firefighters and Emergency Workers]. *Izvestiya Ural'skogo federal'nogo universiteta. Ser. 1: Problemy obrazovaniya, nauki i kul'tury*, 2018, vol. 24, no. 3, pp. 106–113.

13. Brust-Carmona H., Valadez G., Galicia M., Flores-Ávalos B., Sánchez A., Espinosa R., Yáñez Ó. Desynchronization/Synchronization of Parasagittal EEG Rhythms During Habituation to Photostimulation in Adults. *Rev. Invest. Clín.*, 2014, vol. 66, no. 5, pp. 422–430.

DOI: 10.17238/issn2542-1298.2020.8.1.5

*Anzhelika E. Bubnova** ORCID: [0000-0003-2873-2871](https://orcid.org/0000-0003-2873-2871)

*Volgograd State Medical University
(Volgograd, Russian Federation)

INTEGRATED USE OF NEUROPHYSIOLOGICAL AND SUBJECTIVE CRITERIA OF A DEVELOPING CRITICAL LEVEL OF FATIGUE FOR PHYSIOLOGICAL SUPPORT OF EMERGENCY OPERATORS

Extreme conditions and high level of work stress in emergencies contribute to sustained fatigue among operators of the Russian Ministry for Emergency Situations (Emercom). The research aimed to identify subjective criteria and objective electroencephalographic (EEG) patterns indicating the development of a critical level of fatigue among Emercom employees with varying degrees of success in operator activity. The study involved 252 healthy Emercom operators (males and females) aged 24–47 years. Subjective assessment of fatigue involved the Russian-language versions of the Fatigue Assessment

Scale (FAS) and the Checklist Individual Strength-8 (CIS-8). Objective assessment of fatigue was performed using the Smile sensorimotor program and brain bioelectric activity recording. According to the data of both scales, operators were divided into two groups of 50 subjects each: those with and those without fatigue. Sensorimotor tracking showed that efficiency of operator activity was statistically significantly lower among operators with fatigue, especially in the hardest tests. Baseline EEG analysis revealed a statistically significant decrease in the power of alpha- and an increase in the power of theta-rhythm, as well as predominance of low frequencies at photic stimulation in operators with fatigue. Significant correlations were found between the quality of operator activity and EEG parameters in the groups under study. These parameters correlate with the level of fatigue according to subjective assessments and can be used in functional correction of operators using biofeedback principles.

Keywords: *emergency operators, occupational fatigue, operator activity, brain bioelectric activity, sensorimotor tracking, activation response, photic stimulation.*

Поступила 27.11.2019

Принята 27.01.2020

Received 27 November 2019

Accepted 27 January 2020

Corresponding author: Anzhelika Bubnova, *address:* pl. Pavshykh Bortsov 1, Volgograd, 400131, Russian Federation; *e-mail:* BubnovaAE@yandex.ru

For citation: Bubnova A.E. Integrated Use of Neurophysiological and Subjective Criteria of a Developing Critical Level of Fatigue for Physiological Support of Emergency Operators. *Journal of Medical and Biological Research*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 5–13. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2020.8.1.5

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И СУБЪЕКТИВНЫХ КРИТЕРИЕВ РАЗВИТИЯ КРИТИЧЕСКОГО УРОВНЯ УТОМЛЕНИЯ ПРИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ СОПРОВОЖДЕНИИ ОПЕРАТОРОВ МЧС

А.Е. Бубнова* ORCID: [0000-0003-2873-2871](https://orcid.org/0000-0003-2873-2871)

*Волгоградский государственный медицинский университет
(г. Волгоград)

Экстремальные условия деятельности и высокая напряженность труда при чрезвычайных ситуациях способствуют развитию устойчивого утомления у операторов МЧС. Целью данной работы было выявление субъективных критериев и объективных электроэнцефалографических паттернов, указывающих на развитие критического уровня утомления у сотрудников МЧС с различной успешностью операторской деятельности. В исследовании участвовали 252 здоровых добровольца (мужчины и женщины) из операторского состава МЧС и диспетчерского состава Государственной противопожарной службы МЧС в возрасте 24–47 лет. Субъективная оценка утомления выполнялась с помощью русскоязычных версий шкалы измерения усталости FAS и шкалы индивидуальной выраженности усталости CIS8, объективная – по результатам сенсомоторного слежения с использованием программы «Smile» и регистрации биоэлектрической активности головного мозга. По данным обеих шкал были выделены две полярные группы по 50 человек с наличием и отсутствием утомления. По показателям сенсомоторного слежения у операторов с наличием утомления наблюдалось статистически значимое снижение эффективности операторской деятельности, наиболее выраженное при выполнении заданий максимальной сложности. Анализ фоновой электроэнцефалограммы выявил статистически значимое уменьшение мощности альфа-ритма и повышение мощности тета-ритма у операторов с наличием утомления, также у лиц данной группы установлено преимущественное усвоение низких частот при фотостимуляции. Обнаружены взаимосвязи качества операторской деятельности и параметров биоэлектрической активности коры головного мозга в выделенных группах. Показатели биоэлектрической активности коррелировали со степенью утомления, установленной по субъективным характеристикам, и могут использоваться в дальнейшем в качестве параметров управления при реализации программ коррекции функционального состояния операторов с помощью принципов биологической обратной связи.

Ключевые слова: операторы МЧС, профессиональное утомление, биоэлектрическая активность головного мозга, сенсомоторное слежение, реакция активации, фотостимуляция.

Ответственный за переписку: Бубнова Анжелика Евгеньевна, адрес: 400131, г. Волгоград, пл. Павших Борцов, д. 1; e-mail: BubnovaAE@yandex.ru

Для цитирования: Бубнова А.Е. Комплексное использование нейрофизиологических и субъективных критериев развития критического уровня утомления при физиологическом сопровождении операторов МЧС // Журн. мед.-биол. исследований. 2020. Т. 8, № 1. С. 5–13. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2020.8.1.5

Профессиональная деятельность операторского состава МЧС расширяется благодаря современным технологиям, обеспечивающим быстрый обмен информацией и возможность контролировать ключевые и наиболее сложные объекты. В то же время происходит увеличение нагрузки у данных специалистов за счет обработки больших массивов данных, необходимости многократного переключения с одного объекта на другой, высокой интенсивности рабочего процесса. При этом часто условия деятельности не дают возможности соблюдать оптимальное соотношение работы и отдыха, а также адекватно распределять нагрузку в течение рабочей смены [1, 2].

С расширением сферы экономического природопользования (нефтегазодобыча, освоение арктического континентального шельфа), научно-технической (в т. ч. оборонной), рекреационной (арктический туризм) и других видов деятельности человека в экстремальных условиях усложняется и расширяется круг задач, возложенных на службы МЧС России [3]. Напряженность труда персонала зависит от масштаба чрезвычайного происшествия и обусловлена острым дефицитом времени на устранение его трагических последствий, при этом не исключается ряд непредвиденных входящих обстоятельств. Выполнение личным составом сложных алгоритмов действий в экстремальных условиях является стрессовой нагрузкой, требующей напряжения адаптационных механизмов, что приводит к развитию устойчивого утомления [4]. Оно может способствовать ухудшению результативности деятельности, что усугубляется отсутствием условий для полноценного восстановления работоспособности персонала МЧС при работе на Русском Севере.

Зарубежными исследователями используется термин *fatigue*, который обозначает повышенное утомление как устойчивое состояние, проявляющееся при отсутствии заболеваний и сохраняющееся после отдыха [5]. Исследования, посвященные структуре утомления и условиям его возникновения, показыва-

ли, что уровень работоспособности связан с нейрофизиологическими характеристиками, определяющими функциональное состояние индивида. Действительно, картина электроэнцефалограммы (ЭЭГ) отображает различные уровни состояния сознания на фоне взаимодействия процессов возбуждения и торможения в нейронах коры при утомлении [6]. Отмечено, что определение реактивности коры на фоне функциональных проб повышает информативность ЭЭГ-исследования динамики биоритмов головного мозга [7].

Исследование характеристик нейродинамики коры как критериев предрасположенности к развитию критического уровня утомления было обусловлено необходимостью определения перспективы использования их в дальнейшем в качестве параметров для функциональной коррекции, основанной на принципах биологической обратной связи. Метод адаптивного биоуправления успешно применяется в последние десятилетия, и интерес исследователей к изучению различных его аспектов не ослабевает, в т. ч. и у различных групп населения Русского Севера [8, 9].

Целью нашего исследования было выявление субъективных критериев и объективных электроэнцефалографических паттернов, указывающих на развитие критического уровня утомления у сотрудников МЧС с различной успешностью операторской деятельности, и установление возможности использования данных показателей в качестве параметров адаптивного биоуправления.

Материалы и методы. Исследование проводилось с участием 252 здоровых мужчин и женщин из операторского состава МЧС и диспетчерского состава Государственной противопожарной службы МЧС в возрасте 24–47 лет, с профессиональным стажем от 5 до 20 лет. К критериям исключения из исследования относились: наличие хронических заболеваний, отягощенный неврологический анамнез. Участники были информированы о целях и порядке исследования, о возможности прекращения участия в нем на всех этапах согласно

принципам биомедицинской этики, изложенным в Хельсинкской декларации.

Субъективная оценка утомления выполнялась с помощью адаптированных нами к данной популяции русскоязычных версий «Шкалы оценки усталости» (Fatigue Assessment Scale – FAS) и «Шкалы индивидуальной выраженности усталости» (Checklist Individual Strength – CIS 8) [10]. Объективная физиологическая оценка утомления проводилась по результатам сенсомоторного слежения за движущимся объектом и регистрации биоэлектрической активности головного мозга. Сенсомоторное слежение было представлено непрерывной операторской деятельностью (компьютерная модель «Smile») [11]. В течение исследования оценивались параметры, отражающие необходимые для оператора навыки: сенсорное восприятие направления и скорости движения объекта; моторная реакция в виде точного и своевременного сопоставления курсора манипулятора с движущимся объектом. Операторская деятельность включала три периода слежения, длительность каждого составляла 3 мин (общее время слежения – 9 мин). Каждый последующий период тестирования характеризовался повышением сложности и интенсивности деятельности на фоне ускорения движения объекта (задержка в движении объекта для 1-го периода – 200 мс, для 2-го – 100 мс и для 3-го – 50 мс) и увеличением вариаций заданных направлений движения в плоскости (для 1-го периода тестирования – 100 у. е., для 2-го – 1000 у. е. и для 3-го – 10 000 у. е.). При этом программой определялись величины ошибки (рассогласования) при нахождении местоположения объекта и проводилось сравнение средних значений ошибки с допустимыми величинами при эффективной деятельности в каждом режиме.

Регистрация биоэлектрической активности головного мозга осуществлялась с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр» («Нейрософт», Россия). Расположение электродов соответствовало международной схеме «10–20», монтаж – монополярный, запись про-

водилась по 16 каналам, в качестве референтных использовались ушные электроды (A1, A2). Исследование выполнялось в первой половине дня, ЭЭГ регистрировалась в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами в течение 5 мин (фоновая) и при функциональных пробах: открывание-закрывание глаз (ОГ-ЗГ, реакция активации, периоды по 10–15 с в каждом состоянии), ритмическая фотостимуляция (на частотах 2–24 Гц, периоды по 10 с на каждой частоте). Визуальный анализ ЭЭГ позволил осуществить общую оценку нейронной активности коры, исключить постоянную и пароксизмальную патологическую активность, а также выявить реакцию усвоения предъявляемого ритма. Математическую обработку записей ЭЭГ предваряло исключение из анализа фрагментов глазодвигательных и двигательных артефактов, выделение эпох (эпоха анализа составила 4 с). Применялся метод спектрального анализа по тета- (4–8 Гц), альфа- (8–13 Гц), бета₁- (13–18 Гц), бета₂- (18–35 Гц) диапазонам ритмов ЭЭГ во всех отведениях с использованием программного обеспечения электроэнцефалографа. Основным параметром для анализа являлась абсолютная спектральная мощность ритма (мкВ²) в лобно-полюсных (Fp1, Fp2), лобных (F3, F4), центральных (C3, C4), теменных (P3, P4), затылочных (O1, O2), височных (T3, T4, T5, T6), лобно-височных (F7, F8) областях головного мозга.

Статистический анализ данных проводился с применением пакета Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Для проверки нормальности распределения данных использовался *W*-критерий Шапиро–Уилка, по результатам теста распределение показателей носило характер нормального, что позволило использовать методы параметрической статистики с оценкой средних значений (*M*) и стандартных ошибок (*m*). Статистическая значимость различий определялась с помощью критерия Стьюдента для парных выборок. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Для выявления взаимосвязей признаков применялся корреляционный анализ с определением критерия Пирсона.

Результаты. Тестирование группы из 252 операторов по шкале FAS не выявило признаков утомления у 64,8 % опрошенных (средний балл по группе – 17,8±0,34), к категории с наличием утомления были отнесены 35,2 % лиц (средний балл – 27,5±0,74). По результатам шкалы CIS8 71,7 % опрошенных не имели признаков утомления (средний балл – 19,4±0,83), а 28,3 % лиц имели признаки утомления (средний балл – 36,8±0,97). Корреляционный анализ шкал FAS и CIS8 определил положительную связь средней силы ($r = 0,541$; $p < 0,05$), в связи с чем результаты по обоим шкалам в дальнейшем явились единым критерием включения. Таким образом, были выделены две полярные группы по 50 человек с наличием и отсутствием признаков утомления по шкалам FAS и CIS8.

Далее проводилась оценка эффективности операторской деятельности в выделенных группах при помощи модели сенсомоторного слежения «Smile». Результативность выполнения теста определялась величиной ошибки (рассогласования) для каждого режима сенсомоторного слежения, которая сравнивалась с ее допустимыми средними значениями. В качестве значений, допустимых для эффективной деятельности, приняты: 4,2±0,15 у. е. для 1-го режима, 5,9±0,25 у. е. – для 2-го и 9,1±0,30 у. е. – для 3-го. Результаты оценки успешности моделируемой операторской деятельности обследуемых представлены в *табл. 1*.

Таким образом, операторы с наличием утомления демонстрировали более низкую статистически значимую эффективность деятельности при выполнении более сложного

задания, соответствующего 3-му режиму сенсомоторного слежения. Примечательно, что величина ошибки увеличивалась по мере повышения сложности теста, но не превышала допустимые значения во всех предъявляемых режимах у операторов обеих групп.

Анализ фоновой ЭЭГ показал (*табл. 2*), что в группе лиц с наличием утомления наблюдалось статистически значимое снижение абсолютной мощности альфа-ритма в отведениях Fp2A2, C4A2, T4A2, O2A2 ($p < 0,05$), а также повышение спектральной мощности тета-ритма в отведениях C3A1, C4A2, T3A1, T4A2, O1A1 ($p < 0,05$).

Таким образом, для группы лиц с наличием утомления характерно снижение представленности альфа-ритма в правополушарных отведениях, а также повышение медленноволновой активности в тета-диапазоне с наибольшей его выраженностью в центральных и височных областях.

В целях уточнения выявленных ЭЭГ-феноменов изучались особенности реакции активации с использованием пробы ОГ-ЗГ. Установлено, что у обследуемых обеих групп отмечалась сходная реакция на пробу, проявляющаяся выраженной депрессией альфа-ритма в ответ на открывание глаз и его усилением при закрывании глаз. При этом депрессия альфа-ритма была четкой и одномоментной во всех отведениях; восстановление альфа-ритма было в пределах нормы. Для оценки реактивности коры головного мозга также проводилась проба с ритмической фотостимуляцией на частотах от 2 до 24 Гц. По результатам пробы было

Таблица 1

**УСПЕШНОСТЬ СЕНСОМОТОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У ОПЕРАТОРОВ МЧС
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЛЕЖЕНИЯ ЗА ДВИЖУЩИМСЯ ОБЪЕКТОМ**

Группа	Величина ошибки ($M \pm m$), у. е., при режиме слежения		
	1-м	2-м	3-м
Операторы с отсутствием утомления ($n = 50$)	3,0±0,08	4,35±0,11	6,9±0,21
Операторы с наличием утомления ($n = 50$)	3,2±0,09	4,5±0,19	8,4±0,26*

Примечание: * – различия между группами в пределах одного режима слежения статистически значимы ($p < 0,05$).

Таблица 2

**АБСОЛЮТНАЯ МОЩНОСТЬ РИТМОВ
АЛЬФА- И ТЕТА-ДИАПАЗОНОВ ФОНОВОЙ ЭЭГ
У ОПЕРАТОРОВ МЧС ($M \pm m$), мкВ²**

Отведения	Операторы с отсутствием утомления (n = 50)	Операторы с наличием утомления (n = 50)
<i>Альфа-диапазон</i>		
Fp2A2	31,6±2,9	22,3±2,5
C4A2	51,2±6,1	29,4±3,8
T4A2	52,4±6,2	27,6±3,6
O2A2	78,5±8,9	53,7±6,8
<i>Тета-диапазон</i>		
C3A1	26,7±3,3	42,8±5,2
C4A2	25,4±3,2	44,6±5,9
T3A1	24,2±3,1	39,5±4,1
T4A2	23,8±2,8	38,4±4,6
O1A1	20,3±2,1	37,6±3,8

Примечание. Представлены только значения показателей, имевших статистически значимые различия в пределах одноименного ритма ($p < 0,05$).

выявлено наличие усвоения ритмов в пределах различных частот в обеих группах (табл. 3).

Исходя из полученных данных, можно наблюдать усвоение низких частот (6 Гц) в 65,3 % случаев у операторов с наличием утомления, с образованием гармоник к ним в 34,7 % случаев. Усвоение альфа-ритма у лиц данной группы отмечалось на частотах 8, 10 и 12 Гц (41,2, 45,4 и 42,6 % случаев соответственно), преимущественно в затылочных областях. В 10,2 % случаев происходило усвоение ритма на частоте 14 Гц; последующая фотостимуляция на более высоких частотах не вызвала реакцию усвоения.

В группе операторов с отсутствием утомления в 70,2 % случаев наблюдалось усвоение частоты 10 Гц во всех областях, тогда как в центральных и затылочных областях в 48,4 % случаев происходило усвоение ритма на частоте 12 Гц. Фотостимуляция на частотах 14, 16 и 18 Гц провоцировала усвоение ритма во всех областях головного мозга в 44,5, 41,8 и 36,4 % случаев соответственно. Таким образом, для данной группы наиболее характерно усвоение

Таблица 3

ОСОБЕННОСТИ УСВОЕНИЯ ЭЭГ-РИТМОВ У ОПЕРАТОРОВ МЧС ПРИ ФОТОСТИМУЛЯЦИИ

Частота стимуляции, Гц	Частота усвоения, Гц	Области усвоения (ЭЭГ-отведения)	Доля группы, %
<i>Операторы с наличием утомления (n = 50)</i>			
6	6	Все	65,3
	12	Затылочные (O1, O2)	34,7
8	8	Затылочные (O1, O2)	41,2
10	10	Затылочные (O1, O2)	45,4
12	12	Затылочные (O1, O2), центральные (C3, C4)	42,6
14	14	Все	10,2
<i>Операторы с отсутствием утомления (n = 50)</i>			
10	10	Все	70,2
12	12	Затылочные (O1, O2), центральные (C3, C4)	48,4
14	14	Все	44,5
16	16	Все	41,8
18	18	Все	36,4

Примечание. Приведены только данные по частотам фотостимуляции, усвоенным обследуемыми.